

MORFOLOGIES DE CORROSIÓ DE LA ZONA DE MESCLA A LES CAVITATS SUBAQUÀTIQUES DE LA FRANJA LITORAL DEL LLEVANT I MIGJORN DE MALLORCA

per Francesc GRÀCIA ^{1,2}, Bernat CLAMOR ¹, Pere GAMUNDÍ ¹ i Joan J. FORNÓS ²

Abstract

In Mallorca Island, the genesis of caves and solutional morphologies that characterize the eogenetic endokarst of the littoral fringe attain particular intensity within the Upper Miocene carbonate rocks. Dissolution processes occur preferentially in the mixing zone between freshwater –of meteoric origin– and marine waters, all along the coastal areas. The submerged passages and chambers, existing in the caves of Migjorn and Llevant regions of the island, show a high diversity of solutional features that are categorized into four groups according to their dimensions, the forms they present and the genetic processes involved. The resulting morphologies are conditioned by the existence of significant lithological differences, of textural character, within the Upper Miocene calcarenites where caves develop, due to environmental variations between the reef front facies and those corresponding to lagoon facies. The difficulties encountered when cataloguing and systematizing the primary morphologies should be, so often, attributed to the difficulty in ascribing solutional features to a certain typology, as there are juxtapositions of different classes, with intermediate forms and different degrees of intensity in the process of dissolution. At the same time, variations in the size of solutional morphologies also increase their difficulty of classification. The inventory of forms has been structured into 4 different categories: megaforms (organization of the cave systems), macroforms (morphologies from hectometric to decametric order), mesoforms (morphologies from decametric to metric order) and microforms (morphologies from metric by centimetric order). Some of the morphologies can be found simultaneously in two different categories.

Resum

La gènesi de les cavitats i de les morfologies de corrosió, que presenta l'endocarst eogenètic de la franja litoral de Mallorca, es produeix amb especial intensitat dintre dels materials del Miocè superior. Els processos de dissolució es donen preferentment a la zona de mescla entre les aigües dolces, de procedència meteòrica, i les aigües marines a l'anomenada zona de mescla costanera (*coastal mixing zone*). Les galeries i sales submergides de les cavitats del llevant i migjorn de l'illa presenten una gran variabilitat de formes de corrosió que són catalogades en quatre grans grups en funció de les seves dimensions, les formes que presenten i els processos genètics implicats. Aquestes morfologies venen condicionades per l'existència d'importants diferències litològiques de caràcter textural dins les calcarenites del Miocè superior a on es desenvolupen les cavitats, degudes a la variació ambiental entre les fàcies de front d'escull i de *lagoon*. Les dificultats per catalogar i sistematitzar les morfologies primàries rau, molt sovint, en la dificultat d'atribuir les morfologies de corrosió a una determinada tipologia, ja que es presenten juxtaposicions de diferents classes, amb formes intermèdies i diferents gradacions d'intensitat en el procés de la dissolució. També les variacions de mida de les morfologies suposa un increment en la dificultat de classificació. El catàleg de formes s'ha estructurat en 4 categories diferents: megaformes (organització de les xarxes endocàrstiques), macroformes (morfologies d'ordre hectomètric a decamètric), mesoformes (morfologies d'ordre decamètric a mètric) i microformes (morfologies d'ordre mètric a centimètric). Algunes de les morfologies es poden trobar a la vegada en dues categories diferents.

Resumen

La génesis de las cavidades y de las morfologías de corrosión, que presenta el endocarst eogenético de la franja litoral de Mallorca, se produce con especial intensidad dentro de los materiales del Mioceno superior. Los procesos de disolución se dan preferentemente en la zona de mezcla entre las aguas dulces, de procedencia meteórica, y las aguas marinas en la llamada zona de mezcla costera (*coastal mixing zone*). Las galerías y salas sumergidas de las cavidades del Llevant y Migjorn de la isla presentan una gran variabilidad de formas de corrosión que son catalogadas en cuatro grandes grupos en función de sus dimensiones, las formas que presentan y los procesos genéticos implicados. Las morfologías resultantes vienen condicionadas por la existencia de importantes diferencias litológicas de carácter textural dentro de las calcarenitas del Mioceno superior en donde se desarrollan las cavidades, debidas a la variación ambiental entre las facies de frente arrecifal y las de *lagoon*. Las dificultades para catalogar y sistematizar las morfologías primarias se deben, muy a menudo, a la dificultad de atribuir las morfologías de corrosión a una determinada tipología, puesto que se presentan yuxtaposiciones de diferentes clases, con formas intermedias y diferentes gradaciones de intensidad en el proceso de la disolución. También las variaciones de dimensiones de las morfologías supone un incremento de la dificultad de clasificación. El catálogo de formas se ha estructurado en 4 categorías diferentes: megaformas (organización de las redes endocársticas), macroformas (morfologías de orden hectométrico a decamétrico), mesoformas (morfologías de orden decamétrico a métrico) y microformas (morfologías de orden métrico a centimétrico). Algunas de las morfologías se pueden encontrar a la vez en dos categorías diferentes.

1 Grup Nord de Mallorca (GNM). Pollença.
email: xescgracia@yahoo.es

2 Karst and Littoral Geomorphology Research
email: joan.fornos@uib.cat

Introducció

El litoral és la franja de la costa que es veu influenciada per la presència o l'acció de la mar. A Mallorca el litoral és de naturalesa carbonatada i al seu interior tenen lloc importants processos geoquímics i espeleogenètics (MYLROIE & CAREW, 1990). La litologia porosa i permeable d'aquests materials al litoral del Llevant i Migjorn de l'illa, possibilita la intrusió de les aigües marines de cap a l'interior al llarg de quilòmetres. Les oscil·lacions glacioeustàtiques quaternàries (GINÉS, 2000) fan que el nivell de la mar hagi oscil·lat per damunt i per davall del nivell actual en funció dels canvis climàtics càlids i freds respectivament. Així, la línia de costa ha canviat amb el temps, amb la qual cosa el concepte de litoral adquireix una nova dimensió i una major complexitat espacial i temporal.

L'extensió de la franja litoral en el carst és variable en funció de la morfologia i dinàmica costera, essent especialment important en relació als aspectes geoquímics de la mescla d'aigües meteòriques i marines (HANSHAW & BACK, 1979). S'ha d'obviar l'accepció de carst litoral com a centrada única i exclusivament en el micromodelat superficial (lapiaz litoral o costaner), ja que s'ha d'ampliar el concepte a l'endocarst, això és, a tot el conjunt de conductes, galeries, o sales i altres morfologies de dissolució, així com a altres processos evolutius en els quals intervé la influència marina en el sentit de FORD & WILLIAMS (2007).

Amb aquest article s'intenta arreplegar i compilar la informació disponible sobre les morfologies de dissolució de les cavitats litorals del Miocè superior de Mallorca, lligades a la zona de mescla d'aigües. El catàleg de formes de corrosió de les cavitats litorals és especialment interessant des d'un punt de vista genètic. S'ha de tenir present que el seu estudi i anàlisi pot permetre comprendre i valorar els primers estadis de formació i evolució de l'endocarst litoral, ja que aquestes morfologies són les generadores de les pròpies cavitats, que per elles mateixes són ja morfologies de corrosió a nivell de megafomes.

Espeleogènesi

La carstificació litoral, especialment a les illes carbonatades, té lloc amb l'actuació dels processos de dissolució a la zona de mescla entre aigües marines i aigües meteòriques, la qual afecta molt sovint a materials geològicament recents, a l'anomenat carst eogenètic (GINÉS & GINÉS, 2007). A pesar d'aquesta suposada simplicitat, altres aspectes contribueixen al control espeleogenètic de les cavitats litorals. Així hi ha morfologies lligades genèticament a la carstificació epigènica produïda pel drenatge de les precipitacions meteòriques així com, en alguna localitat, altres formes lligades a una possible recàrrega basal hipogènica (GINÉS *et al.*, 2008, 2009a) relacionada amb anomalies geotèrmiques, a la zona del Migjorn de Mallorca. Tot això condicionat per la litologia calcarenítica, que presenta abundants canvis de fàcies,

tant verticals com horitzontals, que provoquen variacions fonamentals en els paràmetres hidrològics com són la permeabilitat i la porositat. En ocasions, la presència de zones de les coves que es desenvolupen associades a diferents fàcies, com són les fàcies de front d'escull i les fàcies de *lagoon* creen una gran variabilitat de morfologies (GINÉS *et al.*, 2008, 2009b; GRÀCIA *et al.*, 2009b). La roca, en el primer cas, és molt porosa (amb gran porositat primària i mòdica), en comparació amb la de la fàcies de *lagoon* d'aspecte més massiu, molt poca porositat primària i només amb permeabilitat secundària deguda a la fracturació. Aquest contrast litològic, fins i tot dins la mateixa cavitat, constitueix un excel·lent motiu d'investigació de les morfologies de corrosió resultants.

Hidrologia

La gènesi de les cavitats i de les morfologies de corrosió que presenta l'endocarst de la franja litoral es produeix amb especial intensitat dintre dels materials eogenètics del Miocè superior; aquests fenòmens es relacionen amb els complexos mecanismes que es donen a la zona de mescla de les aigües dolces (aigües meteòriques) i de l'aigua salada (aigua marina), a l'anomenada zona de mescla costanera (*coastal mixing zone*). Les cavitats litorals estudiades presenten un perfil hídic amb una marcada estratificació que pot arribar a constar de fins a cinc capes amb diferent salinitat (GRÀCIA *et al.*, 2007), les quals es disposen en ordre creixent de salinitat, per efecte de les diferències de densitat. Els canvis de menor a major salinitat al llarg de la columna de l'aigua es produeixen a zones de transició (mescla) denominades haloclines o picnoclines. Les zones de mescla en aquests medis hipogeus tan tranquils resten molt estables al llarg del temps, produint-se petites variacions que es tradueixen en lleus oscil·lacions centi-decimètriques condicionades per la dèbil oscil·lació mareal del Mediterrani occidental, les oscil·lacions baromètriques i els aportos superficials d'aigües meteòriques. La temperatura també resta estable al llarg de la columna hídrica (entre els 18 i 20°C), només amb variacions significatives (al voltant dels 5°C) als primers metres, coincidint amb les variacions estacionals en el cas dels llacs amb una connexió directa amb l'exterior de mida important.

Catàleg de morfologies de corrosió

Tradicionalment s'ha dedicat sempre molta d'atenció i reconeixement a les formacions litoquímiques o espeleotemes, que es troben a les cavitats com a conseqüència dels mecanismes de precipitació, i s'han menyspreat les formacions primàries, generades pels mecanismes de

dissolució de les aigües químicament agressives. Antigament, i encara ara, és habitual parlar de morfologies espongiformes (*spongework*) de forma global per incloure gran part de les morfologies de dissolució freàtica presents. Però creiem que és important intentar anar més enllà d'aquesta generalització i aprofundir en la riquesa de les formacions primàries. És com si tots els espeleotemes no es tractessin més que de forma global, sense entrar en la gran riquesa de tipologies que existeixen.

D'ençà de les exploracions iniciades l'any 1994 a la cova des Coll i a la cova des Pas de Vallgornera, amb la troballa d'una gran riquesa de formes de corrosió, es va veure la pobresa dels termes que s'empraven i la necessitat d'aclarir i aprofundir en l'estudi d'aquest aspecte de l'endocarst.

Les dificultats per catalogar i sistematitzar les morfologies primàries rau molt sovint, en la dificultat d'atribuir les morfologies de corrosió a una determinada tipologia, ja que es presenten juxtaposicions de diferents classes, amb formes intermèdies i diferents gradacions d'intensitat en el procés de la dissolució. També les variacions de mida de les morfologies suposa un increment de la dificultat de classificació. La litologia juga així mateix un paper clau en el desenvolupament i evolució de les morfologies de corrosió, afavorint de forma preferent algunes tipologies segons la facilitat de dissolució de la roca. El seu estudi a Mallorca s'ha anat incrementant progressivament gràcies a les recerques i aportacions efectuades per l'equip d'espeleòlegs subaquàtics del Grup Nord de Mallorca a les coves del Migjorn i Llevant mallorquí

Català	Anglès	Castellà	Fàcies de roca preferents
MEGAFORMES (d'ordre quilomètric a hectomètric)	MEGAFORMS (kilometric to hectometric order)	MEGAFORMAS (de orden kilométrico a hectométrico)	
Sistemes de cavitats ramiformes	<i>ramiform caves</i>	Sistemas de cavidades ramiformes	FE, RE
Xarxes freàtiques amb fort control estructural	<i>structural networks</i>	Redes freáticas con importante control estructural	LE
MACROFORMES (d'ordre hectomètric a decamètric)	MACROFORMS (hectometric to decametric order)	MACROFORMAS (de orden hectométrico a decamétrico)	
Galeries freàtiques de control estructural estratigràfic	<i>bedding-plane phreatic passages</i>	Galerías freáticas de control estructural estratigráfico	FE, LE, LI
Galeries freàtiques de control estructural tectònic	<i>joint-guided phreatic passages</i>	Galerías freáticas de control estructural tectónico	LE
Galeries freàtiques de secció circular	<i>tubular passages</i>	Galerías freáticas de sección circular	FE, RE
Sales freàtiques circulars	<i>globular halls</i>	Salas freáticas circulares	FE, RE
MESOFORMES (d'ordre decamètric a mètric)	MESOFORMS (decametric to metric order)	MESOFORMAS (de orden decamétrico a métrico)	
Cambres freàtiques circulars	<i>phreatic chambers, globular chambers</i>	Cámaras freáticas circulares	FE, RE
Columnes de roca	<i>rock pillars</i>	Columnas de roca	FE, RE, LE, LI
Envans	<i>partitions, rock spans</i>	Tabiques de disolución	LE, FE
Ponts	<i>bridges</i>	Puentes	LE, FE
Facetes	<i>solution facets</i>	Facetas	LE
Regates de corrosió	<i>corrosion notches</i>	Entalladuras de corrosión	LE
Morfologies espongiformes	<i>spongework</i>	Morfologías espongiiformes	FE, RE, LE
Galeries cegues	<i>dead ends</i>	Galerías ciegas	FE, RE, LE
Conductes seminals o iniciadors		Conductos seminales o iniciadores	FE, RE, LE
MICROFORMES (d'ordre mètric a centimètric)	MICROFORMS (metric to centimetric order)	MICROFORMAS (de orden métrico a centimétrico)	
Morfologies espongiformes	<i>spongework</i>	Morfologías espongiiformes	FE, RE
Arcs	<i>archs</i>	Arcos	LE, FE, RE
Pinacles	<i>çers</i>	Pináculos	LE, FE, RE
Esperons	<i>rocky jags</i>	Acicates	LE, FE, RE
Penjants	<i>rock pendants</i>	Colgantes rocosos	LE, FE, RE
Concavitats poc marcades	<i>subdued pockets</i>	Concavidades poco pronunciadas	FE, RE, LE
Tupins de paret, sostre i pis	<i>wall pockets, ceiling pockets, floor pockets</i>	Concavidades alveolares de pared, techo y suelo	FE, RE, LE
Cúpules	<i>cupolas, bellholes</i>	Cúpulas	FE, LE
Ninxols de paret	<i>wall niches</i>	Nínchos de pared	FE, RE, LE
Canals subverticals de dissolució	<i>wall combs</i>	Canales subverticales de disolución	LE

Taula 1: Inventari de morfologies de corrosió en català, anglès i castellà. A la darrera columna s'indica la fàcies de roca preferent a on es desenvolupen: Front escullós (FE), Rera escull (lagoon amb clapes d'escull) (RE), Lagoon extern (LE), Lagoon intern (LI).

Table 1: Inventory of solutional morphologies compiled in Catalan, English and Spanish languages. In the last column, the limestone facies where each form preferentially develops are indicated: Reef front (FE), Back reef with coral patches (RE), Outer lagoon (LE), Inner lagoon (LI).

(GRÀCIA *et al.*, 1997, 1998a, 1998b, 2000, 2003b, 2005, 2006a, 2006b, 2007, 2009a, 2009b, 2010a, 2010b) i a l'equip d'espeleòlegs que exploren i documenten la cova des Pas de Vallgornera (MERINO, 1993, 2000, 2006, 2007; MERINO *et al.*, 2006, 2008, 2009; GINÉS *et al.*, 2008, 2009a i 2009b). Alguns dels termes inicialment emprats corresponen a BRETZ (1942), NÚÑEZ-JIMÉNEZ (1967), FORD i WILLIAMS (1989) i SLABE (1995). Aquí no tractam de les morfologies generades exclusivament pels processos hipogènics de caràcter hidrotermal, ja que es tracten a un altre article (MERINO *et al.*, 2011).

El catàleg de formes s'ha estructurat en 5 categories diferents, de les quals només 4 es comenten en aquest article (Taula 1), ja que la darrera categoria no és visible a simple vista i només ho és a nivell microscòpic. **Megaformes** (organització de les xarxes endocàrstiques), **macroformes** (morfologies d'ordre hectomètric a decamètric), **mesoformes** (morfologies d'ordre decamètric a mètric), **microformes** (morfologies d'ordre mètric a centimètric) i **nanofomes** (morfologies a nivell cristal·lí). Algunes de les morfologies es poden trobar a la vegada en dues categories diferents.

Les diferents formacions primàries es presenten sovint imbricades i superposades a diferents escales de mida. De forma global podem pensar que la cavitat, per ella mateixa, correspon a una *megaforma* (d'ordre quilomètric a hectomètric). En aquest cas aquesta megaforma, estaria formada per un conjunt de diferents galeries i sales que les podríem agrupar dins la consideració de *macroformes* (d'ordre hectomètric a decamètric). La galeria, considerada ella mateixa una forma de dissolució, podria presentar, a tall d'exemple, a ambdós costats, regates i facetes que serien considerades com a *mesoformes* (d'ordre decamètric a mètric) i que podrien estar situades sovint a diferents nivells. Les facetes, a la seva vegada, podrien presentar solcs subverticals sobreposats; en aquest cas parlariem de les *microformes* (d'ordre mètric a centimètric).

MEGAFORMES

Corresponen a aquest grup les morfologies de corrosió d'ordre quilomètric a hectomètric i que corresponen a la pròpia organització de les xarxes endocàrstiques litorals.

Sistemes de cavitats ramiformes (*ramiform caves*)

Una sèrie d'unitats d'esfondrament s'han anat connectant i creixent tridimensionalment (GINÉS & GINÉS, 2007; GRÀCIA *et al.*, 2007, 2010a), fins a donar lloc a una disposició en planta de caràcter *ramiforme* en el sentit enunciat per PALMER (2007). Aquest patró més aviat aleatori es veu fortament condicionat per la litologia dels dipòsits carbonatats del Miocè superior (GINÉS *et al.*, 2008, 2009c), essent possible observar-ho amb claredat en les fàcies de front d'escull, com a resultat de la dissolució extensiva de les construccions de coralls. Exemples ben representatius d'aquestes megafor-

mes són el sistema Pirata-Pont-Piqueta (TRIAS & MIR, 1977; GRÀCIA *et al.*, 2006a), la cova Genovesa o d'en Bessó (GRÀCIA *et al.*, 2003a, 2003b), el sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007, 2010a; GINÉS *et al.*, 2008), les coves del Drac (GINÉS & GINÉS, 1992) i els sectors més propers a la línia de costa de la cova des Pas de Vallgornera, a on es troben les sales d'esfondrament excavades a les fàcies d'escull.

Xarxes freàtiques amb fort control estructural (*structural networks*)

Les fàcies corresponents a ambients de *lagoon* del Miocè superior postorogènic de les Balears, presenten una porositat relativament baixa i una permeabilitat relativament alta associada a la fracturació (GINÉS *et al.*, 2008, 2009c). Dins d'aquesta litologia, algunes localitats del Migjorn de Mallorca com la cova des Coll, a Felanitx (GRÀCIA *et al.*, 2005), constitueixen extensos sistemes freàtics litorals on és ben patent un fort control estructural (diàclasi i fractures en general) pel que fa a la disposició en planta de les cavitats. Es tracta d'un subtipus de cova de la zona de mescla litoral, però caracteritzat per un patró planimètric (GINÉS *et al.*, 2009a) marcadament rectilini, força diferent en relació al caràcter *ramiforme*, abans descrit, de les coves excavades dins els materials escullosos. Per altra banda, els sectors interns de la cova des Pas de Vallgornera, desenvolupats en fàcies de *lagoon*, estan constituïts per un extens laberint de galeries, controlades estructuralment per importants fractures on predomina la direcció SW-NE. Amb una freqüència menor, els plans d'estratificació poden assolir un paper important en el desenvolupament d'algunes coves litorals, com succeeix a la cova Figuera, a Manacor (GINÉS & GINÉS, 2009).

MACROFORMES

(morfologies de corrosió d'ordre hectomètric a decamètric)

Galeries freàtiques de control estructural estratigràfic (*bedding-plane phreatic passages*)

La dissolució aprofita els plans d'estratificació, i genera seccions horitzontals (Fig. 1), en ocasions d'amplades importants. Al sistema Gleda-Camp des Pou suposen una part important de les galeries de la cavitat i explica l'elevat quocient entre l'amplària i l'alçària dels àmbits (la sala dels Paleonivells, els laminadors prop del pas de l'Apocalipsi, part de les galeries de les Haloclines, algunes zones del sector de la Unió). En el cas de la cova des Coll formen una part important de les galeries del sector del Poble, sector del Descobriment, sector del Patatús i sector dels Autèntics. A la cova des Pas de Vallgornera hi ha importants galeries d'aquest tipus, dins la fàcies de *lagoon* extern, al sector Subaiguàtic de Gregal a on les amplades són molt importants (en alguns llocs superen els 25 m). La part final de la galeria Grup Nord de Mallorca, a on entra ja dins el *lagoon* intern, presenta el sostre totalment pla i també les podem incloure en aquesta tipologia. A la fàcies de front

d'escull, al sector Antic, també hi son presents, formant sales d'uns 2 m d'alçària i molt espaioses, que superen els 16 m. A altres cavitats litorals de Mallorca, com per exemple la cova Genovesa (GRÀCIA *et al.*, 2003a, 2003b), formen sales com la sala GNM.

Galeries freàtiques de control estructural tectònic (*joint-guided phreatic passages*)

Són les galeries a on predomina el control estructural tectònic, a partir de fractures que serveixen de línia de menor resistència per a la corrosió dins la zona de mescla i donen lloc a les galeries que en secció transversal tenen una tendència normalment vertical (Fig. 2). L'alçària d'aquestes galeries arriba a assolir els 10 m a la galeria Miquel Àngel Barceló (cova des Pas de Vallgornera). Aquestes galeries solen tenir associades regates de corrosió i facetes, sovint a diferents nivells. A les zones subaquàtiques de la cova, les galeries de control estructural tectònic són majoritàries i es troben a les galeries de les Grans Sales, alguns trams del sector Antic i la major part de la galeria Miquel Àngel Barceló, trams de la galeria Grup Nord de Mallorca, galeria Endavant les Atxes, part de les galeries de l'Extremunció i galeria Collonuda Nord. És molt freqüent que en moltes zones es trobin disposades varies galeries en forma paral·lela, associades a l'equidistant distribució de les diàclasis també paral·leles, i que presentin fenòmens

de coalescència. A la cova des Coll, a la part oriental de Mallorca (GRÀCIA *et al.*, 2005), aquestes formen la majoria de galeries del sector del Poble, sector del Descobriment, sector del Patatús i sector dels Autèntics. Al sistema Gleda-Camp des Pou les galeries de control estructural tectònic es troben especialment al sector Lluçnyà. A la cova des Coloms I es troben a la part terminal de la cavitat (GRÀCIA *et al.*, 2010b).

Galeries freàtiques de secció circular (*tubular passages*)

Presenten generalment seccions circulars, semicirculars o el·líptiques, encara que n'hi ha que tenen una secció més irregular, sense una forma clara (Figs. 3 i 4). En la seva gènesi no ha intervingut de forma tan activa el control estructural tectònic o estratigràfic, encara que és freqüent que hi siguin presents les diàclasis. En els casos de l'existència de galeries paral·leles molt properes, solen presentar també morfologies de coalescència.

A la cova des Pas de Vallgornera es troben especialment al sector Antic, de secció generalment irregular i que no segueixen una direcció clara, no presenten trams molt rectes i allargats, com és el cas de les galeries de control estructural tectònic i presenten abundants galeries laterals. A la cavitat es troben especialment a les fàcies de front d'escull i, a les fàcies amb clapes d'esculls existents dins del *lagoon* extern, com és el cas



Figura 1: Galeria freàtica de control estructural estratigràfic de la cova d'en Bassol (Felanitx). S'aprecia que la galeria segueix un pla d'estratificació que condiciona la seva secció de tendència horitzontal (Foto: M. Perelló).

Figure 1: Phreatic passage showing a strong bedding control, in Cova d'en Bassol (Felanitx). It is quite evident how the passage exploits a bedding-plane, which conditions the horizontally elongated cross-section (Photo: M. Perelló).



Figura 2: Galeria freàtica de control estructural tectònic de la cova des Coll (Felanitx). Les diàclasis han servit de línies de menor resistència per a la corrosió i donen lloc a les galeries que en secció transversal tenen una tendència vertical (Foto: M. Perelló).

Figure 2: Structurally controlled phreatic passage in Cova des Coll (Felanitx). The joints served as lines of least resistance to corrosion and lead to galleries whose cross-sections have a vertical tendency (Photo: M. Perelló).

d'algunes zones de la galeria Grup Nord de Mallorca, a on s'assoleixen els 2,5 m d'alçària i els 5 m d'amplària. Al sector Antic, dins la façies d'escull, l'alçària és de 1,7 m i l'amplària entre 3,5 i 4 m. A la cova des Coll estan localitzades a les galeries Laberíntiques del sector dels Espectres i a les galeries Corcades del sector del Patatús i en gran part de galeries del sector dels Autèntics (GRÀCIA *et al.*, 2005). Les mides en secció agafades al sector dels Espectres donen uns valors generals d'alçària entre 0,9 i 1,8 m; el quocient entre amplària i alçària de les seccions és de 1,4 i 1,8 (sense tenir en compte els valors de galeries fusionades). A la cova de sa Gleda es localitzen, especialment les de secció irregular, en algunes zones del circuit dels Pirates, galeries dels Gemecs i galeries de les Haloclines.

Sales freàtiques circulars (globular halls)

Venen a esser unitats de dissolució semi-independents que en planta tenen forma irregular o més o menys circular. En aquesta classificació incorporam les que superen els 10 m d'eix. A la cova des Pas de Vallgornera

es localitzen especialment a les façies de front d'escull i, a les façies amb clapes d'escull, dins del *lagoon* extern. A la cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 2005), algunes de les sales estan connectades amb la resta de la cavitat mitjançant estretes galeries freàtiques de secció circular (corredors). El diàmetre arriba a assolir els 25 m (sala del Cap Buit, al sector Final); les descrites a la cova des Coll són de sostre baix.

MESOFORMES

(morfolgies de corrosió d'ordre decamètric a mètric)

Cambres freàtiques circulars

(*phreatic chambers, globular chambers*)

Són unitats de dissolució semi-independents de forma circular i de sostre generalment baix. En aquesta tipologia incloem les que es troben entre 2 i 10 m de diàmetre. Es presenten sovint fusionades o associades a altres morfolgies de corrosió, com són galeries freàtiques de secció circular o irregular. A la cova des Pas de Vallgornera també es localitzen als laterals del sector Antic i algunes zones del sector Subaquàtic de Gregal, preferentment lligades a les façies de front d'escull o a on hi ha clapes de creixement coral·lí dins la façies de *lagoon* extern. A la cova de sa Gleda es localitzen escampades a diferents indrets, com és el cas de les galeries de les Haloclines (GRÀCIA *et al.*, 2007). A la cova Genovesa es troben presents als laterals de la galeria Myotragus i a la sala Final. Algunes de les cambres estan connectades amb la resta de la cavitat mitjançant estrets corredors freàtics (GRÀCIA *et al.*, 2003).

Columnes de roca (rock pillars)

Es tracta de morfolgies de corrosió, formades per roca mare, que connecten sostre i pis. Sovint són formes que s'han generat a partir d'envans en avançat estat d'evolució (Fig. 5). Són molt abundants i es troben repartides pels diferents sectors de la cova des Pas de Vallgornera, encara que són molt més espectaculars i abundants a les façies de front d'escull de la cavitat, com a conseqüència de la gran quantitat de galeries que s'obrin pertot arreu, fet que provoca que quedin romanents de roca mare que constitueixen les columnes, de diàmetre molt variable. A aquesta cova són especialment abundants a les galeries de l'Extremunció i a la galeria Collonuda Sud; també al sector Antic són freqüents. Altres cavitats a on són molt abundants o presenten exemplars espectaculars són el sistema Gleda-Camp des Pou i la cova des Coll.

Envans (partitions, rock spans)

Són les parets que separen galeries o cambres paral·leles (Fig. 6d), que a mesura que avança la dissolució de la roca es van tornant més primes, fins que es van desdibuixant en subdividir-se, foradar-se o bé caure en perdre sustentació. Mostren, per tant, segons l'estadi



Figura 3: Galeria freàtica de secció circular de la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor). (Foto: A. Cirer).

Figure 3: Phreatic passage with circular cross-section, in Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor). (Photo: A. Cirer).

evolutiú diferents estadis de dissolució i es presenten associades a altres morfologies de corrosió com ara ponts i arcs que permeten veure o passar d'una galeria a l'altra, columnes de roca, penjants, pinacles i esperons. Aquestes altres morfologies als primers estadis tenen formes molt allargades, per posteriorment anar-se'n desdibuixant l'antic envà original. A la cova des Coll i a la cova des Pas de Vallgornera els envans són extraordinàriament abundants, a causa de la gran quantitat de galeries paral·leles que es troben (especialment les de control estructural tectònic) les quals originen freqüents envans verticals. Són més escasses a les fàcies d'escull i més abundants a les de *lagoon* extern. Han estat citades a gairebé totes les cavitats subaquàtiques del llevant de Mallorca (GRÀCIA *et al.*, 2000, 2003b, 2005, 2010b). N'hi ha que es troben en estadis avançats de dissolució en zones concretes de l'envà, on pot arribar a desaparèixer la roca per complet de forma local. Així, si ha desaparegut la roca de la base l'envà es troba en un estadi de transició cap a penjant. En el cas de que s'hagi dissolt per complet la part superior de l'envà, aquest evoluciona de cap a un pinacle.

Ponts (bridges)

Són restes de la massa rocosa, d'ordre mètric a decamètric, que abans separava àmbits pròxims (Fig. 6c). En ocasions procedeixen d'envans, bé verticals, comunicant dues galeries paral·leles, o bé horitzontals, permetent l'accés entre pisos diferents. Si es troben en una

cota a on es produeix la dissolució de la roca, se seguiran eixamplant o bé cauran per inestabilitat contribuint a l'increment del buit. El seu desmantellament per corrosió origina esperons. Són abundants tant a la fàcies de *lagoon* extern, com a les fàcies de front d'escull, així com quan hi ha clapes de creixement coral·lí dins les fàcies de rere escull. Al sistema Gleda-Camp des Pou són més presents a les galeries dels Gemecs i s'han format per la destrucció del pis que separava dos nivells superposats de galeries (GRÀCIA *et al.*, 2007). La cova des Coll presenta també aquesta morfologia repartida arreu de la cova (GRÀCIA *et al.*, 2005). La cova des Coloms I i la cova de Cala Varques B són altres cavitats a on es troben sovint (GRÀCIA *et al.*, 2010b, 2000). Tanmateix, una bona part d'altres cavitats amb continuacions subaquàtiques posseeixen ponts.

Facetes (solution facets)

Es presenten associades generalment a les regates de corrosió, de les quals parteixen i constitueixen el seu límit inferior (Fig. 6a,d). Longitudinalment segueixen les galeries freàtiques estructurals i les galeries freàtiques de secció circular i es disposen a ambdós costats formant superfícies inclinades (*facets*), generalment entre 35 i 50°. La seva alçària està compresa entre 0,5 i 2 m, encara que el més habitual és de 0,5 i 1 m. La gran longitud que poden arribar a assolir, la qual pot superar el centenar de metres, fa que estiguin incloses dins les mesoformes. Es poden trobar a diferents nivells, essent

molt freqüent trobar dos o tres a diferents fondàries, associades generalment a regates de corrosió. Són més abundants i marcades, així com molt més clares, les que es formen a les galeries freàtiques estructurals tectòniques. Es localitzen a galeries de qualsevol amplada, algunes de molt angostes fins a d'altres que superen els 15 m, encara que s'han pogut generar dins una galeria més estreta i per unió de vàries laterals arribar a formar una galeria molt més ampla, amb els laterals que presenten facetes.

A la cova des Pas de Vallgornera és una de les morfologies de corrosió més característiques, localitzades a qualsevol fàcies, encara que molt més abundants i marcades a les galeries estructurals tectòniques de les fàcies de *lagoon* extern. S'han trobat a les galeries subaquàtiques a fondàries compreses entre -1,5 i -2 m; -1,5 i -3 m; -2,3 i -2,8 m; -2,3 i -3,6; -3,1 i -3,6 m; -3,7 i -4 m; -2,6 i -4,6 m; -4,2 i -4,7 m; -4,2 i -5 m; -4,9 i -5,4; -5 i -5,6 m; i -6 i -6,7 m. La cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 1997, 2005) va ésser la primera localitat a on es van detectar sota l'aigua. Les facetes de la cova de sa Gleda, localitzades fins ara a les galeries de les Haloclines, no presenten canals subverticals de dissolució. La separació de les parets de les galeries on es troben sol estar entre 6 i 15 m. La fondària on es troben les facetes està compresa entre -13,5 m i -14 m. A un lateral de la galeria Cinc-cents es troben facetes entre -7,5 m a la part superior i -8,5 m al límit inferior (GRÀCIA *et al.*, 2007). A la cova des Coloms I també es troben facetes a les galeries freàtiques de control estructural tectònic.

Regates de corrosió (*corrosion notches*)

Es tracta de solcs horitzontals a les parets de roca, que s'han format per la corrosió a una zona d'haloclines (Fig. 6a,b). A les zones subaquàtiques de la cova des Pas de Vallgornera es troben regates a -0,5; -1,4; -1,6; -2,2; -2,3; -2,7; -2,9; -3; -3,2; -3,3; -3,4; -3,5; -4,3; -4,4; -4,6; -5,4; i -5,6 m. A la cova Genovesa se n'han observat als -7,8 m i als -10,5 m associades a facetes i pentinades de roca (GRÀCIA *et al.*, 2003). També estan citades a la cova des Moro a +23,5 i +23,9 m (TRIAS, 2000). Se n'han trobat a la cova des Coll aproximadament a uns -3 m respecte del nivell actual de la mar; altres cotes de regates menys importants s'han localitzat a -0'5 m (galeria de les Formacions i galeria del Segon Pou) i a -2'2 m (galeria dels Encomanats a Déu), ambdues pertanyen al sector del Patatús. Estan associades amb les morfologies anomenades canals subverticals de dissolució o "pentinades de roca" (GRÀCIA *et al.*, 1997; GRÀCIA *et al.*, 2005; MERINO, 2006). A la cova de sa Gleda algunes de les existents són regates ben marcades i molt clares (GRÀCIA *et al.*, 2007). És un dels llocs més evidents pel que fa la seva importància en la gènesi de les cavitats litorals. La localització més bona és la que es troba al llarg de més de 150 m de la galeria més central de les galeries de les Haloclines, a la cota d'entre -13,5 i -14 m, i penetra a les parets i espeleotemes entre 0,3 m i 1 m. La regata, molt marcada i horitzontal, ha afectat per igual a la roca mare de les parets i als espeleotemes. Vàries columnes han estat seccionades per la



Figura 4: Galeria freàtica de secció irregular del sistema Gleda-Camp des Pou (Manacor). Moltes galeries, especialment quan el control estructural és menys important, presenten un aspecte més irregular i caòtic (Foto: A. Cirer).

Figure 4: Phreatic passage showing an irregular cross-section in Gleda-Camp des Pou cave system (Manacor). When the structural control is not very important, the galleries often present an irregular and chaotic shape (Photo: A. Cirer).

dissolució de l'aigua a la franja corresponent a aquesta regata. També han afectat, entre d'altres espeleotemes, un gran massís estalagmític, envoltat per aquest solc perfecte. La regata continua per les dues parets d'una àmplia galeria, estant associada a la gènesi d'alguns tupins i galeries iniciadores. En alguns llocs, per davall de les regates se situen facetes associades. Curiosament la roca rogenca de tota la galeria és molt massiva i presenta molt poques morfologies de corrosió, llevat de les que ara comentam. Per contra, les altres galeries veïnes, amb profusió de morfologies de dissolució, tenen la roca en avançat estat de corrosió i no posseeixen regates.

Morfologies espongiformes (*spongework*)

A escala de mesoformes, denominam morfologies espongiformes a les zones de les galeries o sales amb una elevada densitat de morfologies de corrosió de mida més petita, com són els penjants, esperons, columnes de roca, tupins de paret i sostre, pinacles, conductes seminals, envans de dissolució, arcs o altres mesoformes i microformes. Globalment adquireixen així un aspecte caòtic, ple de sortints i forats, de molt diferents mides i formes. A molts d'articles de cavitats litorals es fa referència a elles com a sinònim de formacions primàries en general. La seva localització és molt general, ja que poden trobar-se per tot arreu, sigui sostre, parets o terra de galeries i sales. La gènesi d'una bona part d'aquestes morfologies està relacionada amb la dissolució diferencial que presenten les masses de coralls d'aragonita en relació a la calcita constituent de la matriu calcarenítica envoltant, de forma que es generen gran quantitat de forats intercomunicats de diferents mides.

En el cas de la cova des Pas de Vallgornera presenten zones amb gran riquesa de morfologies espongiformes, de forma general sempre a les zones de fàcies de front d'escull o amb clapes de creixement coral·lí dins les fàcies de *lagoon* extern. Algunes galeries de control estructural tectònic, poden presentar morfologies espongiformes a zones concretes.

Al sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007, 2010a), algunes zones de les galeries de les Haloclines, galeries dels Gemecs i alguns indrets de la galeria de les Cònques i de la galeria Cinc-cents es poden incloure en aquesta tipologia. Curiosament, algunes galeries presenten aquestes morfologies mentre que en altres molt properes hi falten totalment. A la cova des Coll es troben repartides a molts d'indrets de tots els sectors (GRÀCIA *et al.*, 2005). Al sistema Pirata-Pont-Piqueta, són abundants a les zones subaquàtiques poc afectades per processos d'esfondrament (GRÀCIA *et al.*, 2006).

Galeries cegues (*dead ends*)

Longitudinalment són de petites dimensions i acaben de forma brusca, com un cul de sac, sense possibilitats de continuació. La seva longitud és molt variable, encara que amb aquesta denominació únicament incloem les que no superen la desena de metres. Les de majors mi-



Figura 5: Columnes de roca de la cova des Coll (Felanitx). Es tracta de morfologies de corrosió generades a partir d'envans en avançat estat d'evolució (Foto: M. Perelló).

Figure 5: Rock columns in Cova des Coll (Felanitx). They are solutional morphologies generated from rock spans existing between passages, in an advanced state of their evolution (Photo: M. Perelló).

des les catalogam dins les macroformes i les assignam a les galeries freàtiques pertinents. Són molt abundants a la cova des Pas de Vallgornera, la cova des Coll, el sistema Gleda-Camp des Pou i el sistema Pirata-Pont-Piqueta. Moltes altres galeries freàtiques de major mida finalitzen en cul de sac, és a dir com si fos una galeria cega, encara que d'altres prossegueixen massa estretes per poder progressar.

Conductes seminals o iniciadors

Els conductes seminals o iniciadors corresponen a tot aquell conjunt de formes, amb una gran variabilitat, que corresponen a l'estadi previ a la formació d'autèntiques galeries, fet que es produeix per la continuació dels processos de corrosió i coalescència de conductes. L'aparença és de galeries freàtiques de control estructural o bé galeries freàtiques de secció circular però, per les seves reduïdes dimensions no són penetrables per a l'home, encara que longitudinalment poden assolir longituds considerables. Són molt abundants a les cavitats, excepte als llocs a on es troben les sales i galeries d'esfondrament.

MICROFORMES

(morfologies de corrosió d'ordre mètric a centimètric)

Morfologies espongiformes (*spongework*)

Estan formades per un conjunt pròxim d'irregularitats (forats, concavitats, protuberàncies, anells, tubs i altres) presents a la volta, parets o pis i que de vegades formen una vertadera randa de pedra (Fig. 6a, 7). Aquestes microcavitats intercomunicades de diferents mides i formes es produeixen per la diferent dissolució de la roca en aigües freàtiques (BRETZ, 1942). La zona freàtica i vadosa de la cova des Pas de Vallgornera presenta zones a on són molt abundants. A la cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 2005) es troben especialment a una galeria amb una gènesi asso-

ciada a l'intens flux d'aigua de baixa salinitat que circula pel conducte. En aquesta part de la cavitat és molt marcat el contrast entre zones del terra i el sostre amb *spongework* i d'altres sense morfologies de corrosió destacades. Al sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007) es troben a zones molt concretes, però en general són poc desenvolupades. A la cova d'en Bassol (GRÀCIA *et al.*, 2007) són molt abundants i espectaculars, a una zona de control estructural estratigràfic que ha estat trobada en temps recents. La cova des Drac de Cala Santanyí (GRÀCIA *et al.*, 1998b) presenta aquesta morfologia molt desenvolupada en zones concretes de la sala d'Entrada i començament de la galeria Negra. A la cova de s'Abisament, les morfologies espongiformes són les formes de corrosió més característiques de les sales finals (GRÀCIA *et al.*, 2006).

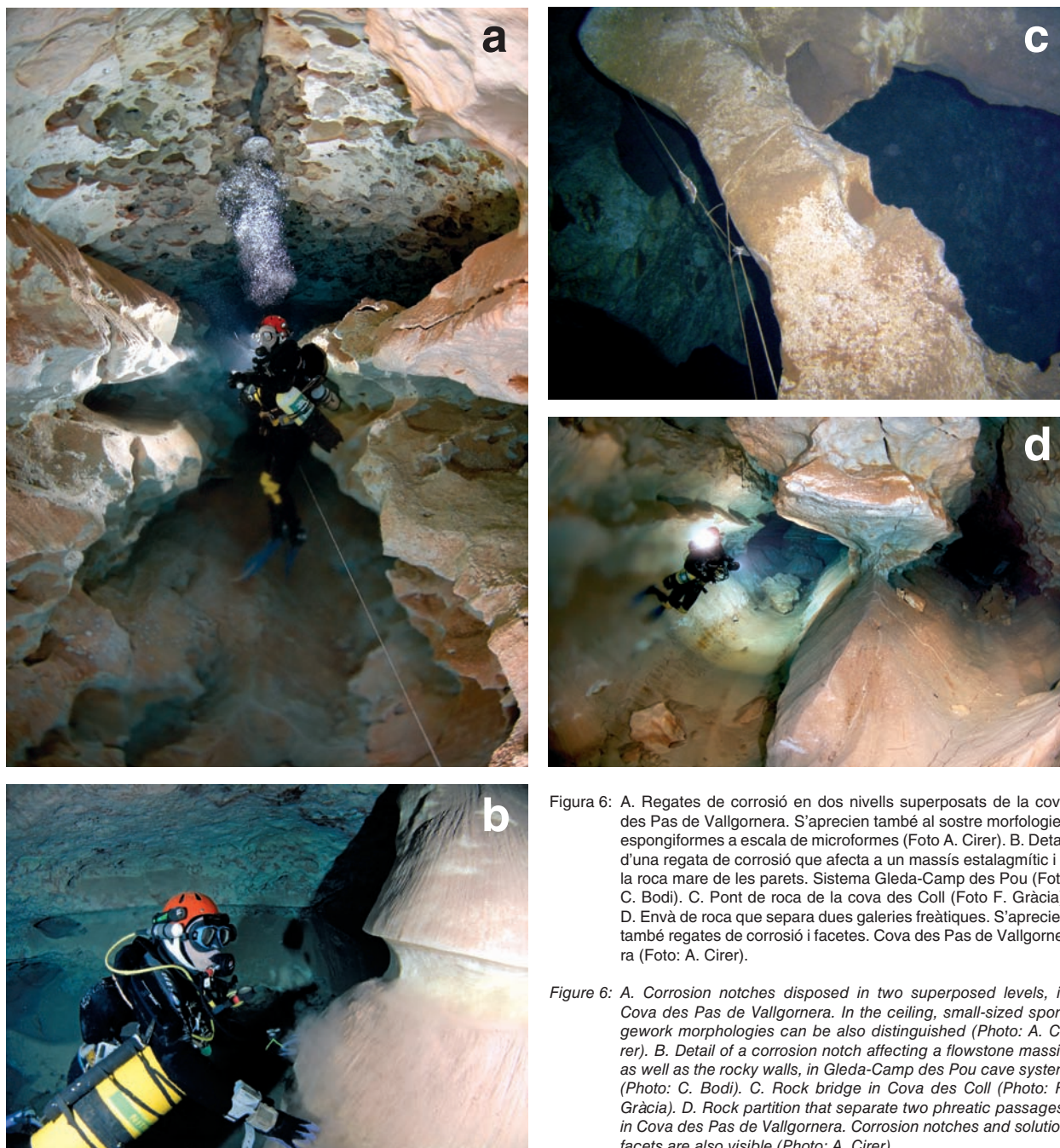


Figura 6: A. Regates de corrosió en dos nivells superposats de la cova des Pas de Vallgornera. S'aprecien també al sostre morfologies espongiformes a escala de microformes (Foto A. Cirer). B. Detall d'una regata de corrosió que afecta a un massís estalagmític i a la roca mare de les parets. Sistema Gleda-Camp des Pou (Foto C. Bodi). C. Pont de roca de la cova des Coll (Foto F. Gràcia). D. Envà de roca que separa dues galeries freàtiques. S'aprecien també regates de corrosió i facetes. Cova des Pas de Vallgornera (Foto: A. Cirer).

Figure 6: A. Corrosion notches disposed in two superposed levels, in Cova des Pas de Vallgornera. In the ceiling, small-sized spongework morphologies can be also distinguished (Photo: A. Cirer). B. Detail of a corrosion notch affecting a flowstone mass, as well as the rocky walls, in Gleda-Camp des Pou cave system (Photo: C. Bodi). C. Rock bridge in Cova des Coll (Photo: F. Gràcia). D. Rock partition that separate two phreatic passages, in Cova des Pas de Vallgornera. Corrosion notches and solution facets are also visible (Photo: A. Cirer).

Arcs (*archs*)

Els arcs són de mida més petita que els ponts. Es generen per la dissolució progressiva d'altres morfologies, com són els envans de dissolució, penjants, esperons, columnes de roca, pinacles, nínxols de paret, entre d'altres (Fig. 8a). Per coalescència d'arcs es poden arribar a convertir en arcs més grans o fins i tot en ponts. És freqüent la presència d'arcs propers entre ells. És una morfologia molt freqüent a la cova des Pas de Vallgornera. Són especialment abundants als sectors de la cavitat de façies de front d'escull o d'escull en clapes. S'han localitzat abundants arcs a la cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 2005), al sistema Pirata-Pont-Piqueta (GRÀCIA *et al.*, 2006) i al sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007).

Pinacles (*çers*)

Equivalen a l'invers dels penjants, ja que parteixen del terra i ascendeixen de cap al sostre (Fig. 9b). Solen ésser molt menys freqüents que no pas els penjants. Es generen a partir de la corrosió dels envans i de les columnes de roca, en quedar-se aïllats del sostre per dissolució progressiva. Als primers estadis evolutius, en cas de procedir d'envans, tenen forma allargada, en ocasions de longitud considerable. També poden provenir d'altres morfologies, com arcs i ponts. A la cova des Pas de Vallgornera es troben per tot arreu; n'hi ha a les façies de front d'escull i també a les façies de *lagoon* extern. En general són molt més espectaculars i de majors dimensions els que es troben a les façies de *lagoon* extern. A altres coves litorals de Mallorca, com el sistema Gleda-Camp des Pou hi són presents (GRÀCIA *et al.*, 2007) i a la cova des Coll són relativament abundants en llocs molt diversos de la cavitat (GRÀCIA *et al.*, 2005).

Esperons (*rocky jags*)

Podem incloure'ls dins el mateix grup que els penjants i pinacles, de fet es tracta de protuberàncies laterals d'ordre mètric. Es tracta per tant de prominències laterals generades sovint a partir de l'evolució de la dissolució progressiva de ponts, arcs i envans desmantellats de forma parcial o totalment (Fig. 8b). Al sistema Gleda-Camp des Pou són freqüents a totes les galeries (GRÀCIA *et al.*, 2007). A la cova des Coll i la cova des Pas de Vallgornera són molt més abundants i generalment relacionats amb antics envans (GRÀCIA *et al.*, 2005, 2009b).

Penjants (*rock pendants*)

Les seves mides van de dimensions d'ordre de centímetres a metres, i tal com indica el seu nom pegen del sostre (Fig. 9a). Hi ha diferents mecanismes generadors de penjants. Per una banda hi ha els penjants procedents d'antics envans que són de forma allargada. També n'hi ha producte de la dissolució i separació de columnes de roca. Un altre tipus de mecanisme formatiu és la corrosió diferencial al sostre de sales i galeries. Dins aquest darrer



Figura 7: Morfologies espongiformes (microformes) de la cova des Coll (Felanitx). Estan formades per un conjunt pròxim d'irregularitats com són forats, concavitats, protuberàncies, anells, tubs i altres, presents a la volta, parets o pis i que de vegades formen una vertadera randa de pedra (Foto: F. Gràcia).

Figure 7: Spongework microforms in Cova des Coll (Felanitx). They are formed by a series of irregularities such as nearby holes, protrusions, ridges, rings, tubes and others, that are present in the ceiling, floor and walls of the passages; sometimes they constitute a real stone lace (Photo: F. Gràcia).

mecanisme n'hi ha relacionats amb corrents d'aigua, en ocasions de diferents densitats. En general, aquest tipus de penjants és de dimensions més reduïdes i se solen presentar associats. A la cova des Pas de Vallgornera es troben a les dues façies repetidament esmentades, tant de front d'escull com d'escull en clapes, com a les façies de *lagoon* extern. En el segon cas procedeixen gairebé sempre d'envans desmantellats. La seva mida és de majors dimensions que els que es formen dins la façies de front d'escull. N'hi ha que es troben paral·lels a una mateixa secció de la galeria, per procedir d'envans dissolts parcialment i dels quals només en queden alguns vestigis. A la cova des Coll són especialment abundants (GRÀCIA *et al.*, 2005). Allà es poden trobar, a més dels comuns formats pel procés abans esmentat, els penjants generats per una gènesi associada a l'intens flux d'aigua de salinitat baixa que circula per alguna galeria. Al sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007) n'hi ha alguns de gran mida, que superen els 3 m, els quals semblen restes de columnes de roca o envans de corrosió. Hi ha tota una sèrie d'estadis evolutius intermedis entre els envans i els penjants.

Concavitats poc marcades (*subdued pockets*)

Es tracta de depressions semiesfèriques circulars, el·líptiques o irregulars centimètriques que s'endinsen poc dins la roca. La longitud o amplària supera sempre la fondària de la concavitat. Es presenten recobrint superfícies extenses de les parets i sostres de galeries i sales (Fig. 9a). Tal i com diu MERINO (2006), en secció vertical la forma s'assembla a una mitja lluna, amb la part còncaua més inferior, amb fort pendent, coberta de fins dipòsits de sediment, que li donen un típic color vermellós. Es poden considerar un estadi evolutiu previ als tupins. Per evolució aquestes formes de corrosió

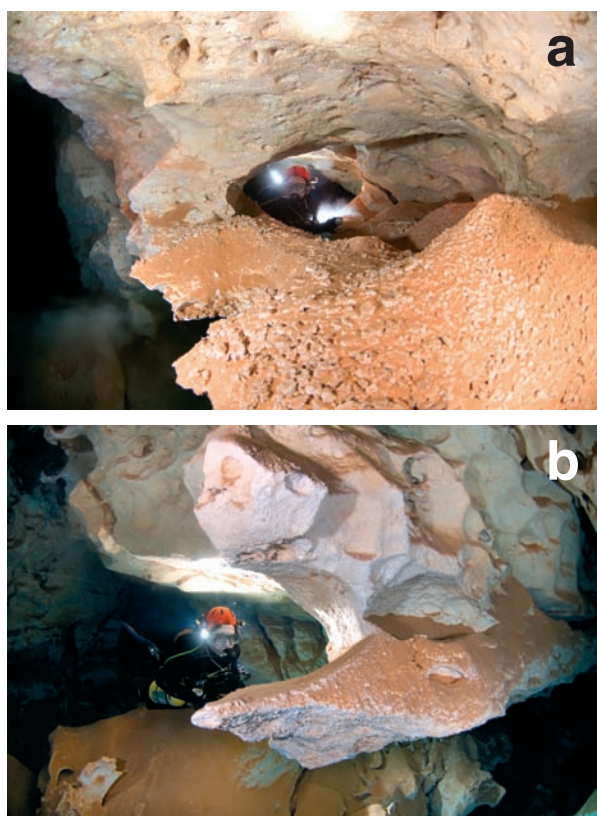


Figura 8: A. Arc. Són de mida més petita que els ponts i procedeixen de la dissolució progressiva d'altres morfologies. B. Esperó. Protuberància lateral generada sovint mitjançant la dissolució progressiva de ponts, arcs i envans. (Fotos: A. Cirer).

Figure 8: A. Arch. They are of smaller size than bridges, being the result of the progressive dissolution of other morphologies. B. Rocky jag. Lateral protrusions evolved frequently from the progressive dissolution of bridges, arches and partitions. (Photos: A. Cirer).

poden entrar en coalescència, i s'arriben a individualitzar estretes seccions de roca, que a mode de cresta separen concavitats majors. En alguns indrets s'observa una evident alineació horitzontal de les files de concavitats que podria ésser conseqüència d'una estabilització d'una zona d'haloclines que originés aquestes formes de dissolució. Segons MERINO (2006), aquesta disposició s'assembla per la morfologia a les facetes, de les quals podria representar un primer estadi evolutiu. La seva presència sol ésser habitual a totes les coves litorals del Llevant i Migjorn de Mallorca.

Tupins de paret, sostre i pis (*wall pockets, ceiling pockets, floor pockets*)

Petits clots semiesfèrics circulars o el·líptics centimètrics, i que en ocasions penetren en forma de cilindres. És freqüent que presentin coalescències o dependències (*composed pockets*) i superposicions (*pocket levels*). Segons la localització espacial a les sales i galeries cal puntualitzar si són de parets, sostre i pis (*wall pockets, ceiling pockets i floor pockets*) (Fig. 9a). A la cova des Pas de Vallgornera es troben a escampats per tots els sectors de la cavitat, tant terrestres com subaquàtics. També hi són, tant a les façies de front d'escull

com de *lagoon*, encara que són molt més nombroses a la primera, possiblement per la dissolució preferencial de les masses de corall de composició aragonítica, per la qual cosa serien generats en quedar buida la zona ocupada per una colònia de corall. És freqüent observar que al buit del tupí sorgeixen mol·luscs perforadors de la roca, com és el cas de *Lithophaga*, els quals es troben a l'interior dels coralls. Són morfologies abundants a totes les cavitats del Llevant de Mallorca.

Cúpules (*cupolas o bellholles*)

Depressions semiesfèriques, circulars o allargades, de mida decimètrica a mètrica, que poden penetrar considerablement dins la roca del sòtil de galeries o sales. Les diàclasis poden condicionar la gènesi d'associacions de cúpules de secció d'arc gòtic. En la seva gènesi se suposa que tenen un paper important les aportacions d'aigua zenital, que en contacte amb l'aigua freàtica condicionaria una zona corrosiva. A les cavitats del Llevant no són molt freqüents.

Nínxols de paret (*wall niches*)

Concavitats de pis pla o lleugerament irregular, d'ordre mètric a centimètric que se situen a les parets de les galeries. En ocasions es poden confondre amb els tupins. Nosaltres som partidaris de limitar aquest nom de nínxols de paret a les morfologies que assoleixen una mida superior als 60 cm d'amplària i almenys 40 cm de fondària i alçària, amb el pis de tendència plana i a les altres incloure-les als tupins, ja que a nivell pràctic és molt difícil distingir-les. Els nínxols, en superar unes certes dimensions (uns 2 m de diàmetre) entrarien ja en la categoria de cambres freàtiques circulars. Han estat localitzades a gairebé totes les cavitats amb importants continuacions subaquàtiques de Mallorca.

Canals subverticals de dissolució (*rock combs*)

Es tracta de morfologies associades i sobreposades a les facetes, encara que no hi són sempre presents. A les cavitats litorals de Mallorca són citades per primera vegada a GRÀCIA *et al.*, (1997) com a "pentinades de roca". MERINO (2000) les defineix com a canalets en forma de ventall. Amb l'objecte d'homogeneïtzar i sistematitzar la morfologia es va decidir emprar el terme de canals subverticals de dissolució per englobar els dos subtipus, encara que les pentinades de roca presenten els canals més amples i pregons, mentre que els canalets en formacions de ventall són poc profunds i la distància entre crestes és menor.

Als sectors subaquàtics de la cova des Pas de Vallgornera són freqüents els canalets, mentre que les "pentinades de roca" són molt poc presents. A la cova des Coll les crestes són especialment marcades i no superen els 20 cm d'alçària entre les valls i les crestes. A la cova Genovesa se n'han observat a diferents sales i galeries, desenvolupades entre -7,8 i -8,7 m (alçada de les facetes 0,9 m) i entre -10,5 i -11,1 m (alçada de les



Figura 9: A. Penjant de la cova des Pas de Vallgornera amb abundants concavitats poc marcades i tupins sobreimposats. Darrera l'espeleòleg es pot apreciar una columna de roca. B. Pinnacle (cer) que s'ha generat a partir de la corrosió d'un envà del sistema Gleda-Camp des Pou. (Fotos: A. Cirer).

Figure 9: A. Rock pendant in Cova des Pas de Vallgornera showing, superimposed, abundant solutional pockets of different sizes. Behind the caver a rock column can be observed. B. Rock pinnacle (cer) generated from the corrosion of a partition between galleries, within Gleda-Camp des Pou cave system. (Photos: A. Cirer).

facetes 0,6 m). A la cova des Coll es troben localitzades a cotes de fondària que van dels -3 a -4,3 m (les regates de corrosió es troben entre -2,5 i -3 m). En pocs casos es troben en dos nivells superposats (entre -0,7 i -1,2 m). Es troben també a la cova des Coloms I.

Agraïments

Als espeleòlegs subaquàtics i als companys terrestres del Grup Nord de Mallorca i d'altres grups de la Federació Balear d'Espeleologia que han col·laborat en l'exploració, topografia i estudi de les cavitats sotaigüades de Mallorca.

Volem també agrair, molt especialment, les tasques efectuades per part dels companys Antoni Cirer i Miquel Àngel Perelló del GNM, pel que fa a la documentació fotogràfica de les parts submergides de les cavitats.

Els treballs subaquàtics han estat finançats parcialment gràcies a l'Obra Social de "SA NOSTRA", dins les convocatòries d'ajuts per a projectes de Conservació de la Biodiversitat.

El present treball és una contribució al projecte de recerca finançat pel Ministerio de Ciencia e Innovación, CGL2010-18616/BTE.

Bibliografia

- BRETZ, J. (1942): Vadose and phreatic features of limestone caverns. *The Journal of Geology*, 50 (6).
- FORD, D. & WILLIAMS, P. (1989): *Karst geomorphology and Hydrology*. U. Hyman, 601 pàgs. London.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. (2007): *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd. 562 pp. Chichester, UK.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Caves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (2007): Eogenetic karst, glacioeustatic cave pools and anchialine environments on Mallorca Island: a discussion of coastal speleogenesis. *International Journal of Speleology*, 36 (2): 57-67.
- GINÉS, J. (2000): *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesis Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 595 pàgs + 29 làms. Inèdit.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2009): Proposta d'una nova classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques de l'illa de Mallorca. *Endins*, 33: 5-18.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; GRÀCIA, F. & MERINO, A. (2008): Noves observacions sobre l'espeleogènesi en el Migjorn de Mallorca: els condicionants litològics en alguns grans sistemes subterranis litorals. *Endins*, 32: 49-80.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009a): On the role of hypogene speleogenesis in shaping the coastal endokarst of southern Mallorca (Western Mediterranean). In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds.) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 91-99. Simferopol, Ucraïna.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009b): About the genesis of an exceptional coastal cave from Mallorca Island (Western Mediterranean). The lithological control over the pattern and morphology of Cova des Pas de Vallgornera. In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 481-487. Kerrville, USA.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B. & LAVERGNE, J.J. (2000): Les coves de cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 23: 41-57.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B. & WATKINSON, P. (1998a): La cova d'en Passol i altres cavitats litorals situades entre cala sa Nau i cala Mitjana (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 22: 5-18.

- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; AGUILÓ, C. & WATKINSON, P. (1998b): La cova des Drac de cala Santanyí (Santanyí, Mallorca). *Endins*, 22: 55-66.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FEBRER, M.; JAUME, D. & VICENS, D. (2006b): La cova de s'Abisament (Sant Llorenç des Cardassar, Mallorca). *Endins*, 30: 101-108.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FORNÓS, J.J.; JAUME, D. & FEBRER, M. (2006a): El sistema Pirata - Pont - Piqueta (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, hidrologia, sedimentologia i fauna. *Endins*, 29: 25-64.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FORNÓS, J.J.; JAUME, D. i URIZ, M.J.; MARTIN, D.; GIL, J.; GRÀCIA, P.; FEBRER, M. & PONS, G. (2005): La cova des Coll (Felanitx, Mallorca): Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna i conservació. *Endins*, 27: 141-186.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; GUAL, M.A.; WATKINSON, P. & DOT, M.A. (2003): Les coves de Cala Anguila (Manacor, Mallorca). I: Descripció de les cavitats i història de les exploracions. *Endins*, 25: 23-42.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J.; CLAMOR, B.; FEBRER, M. & GAMUNDÍ, P. (2007): La cova de sa Gleda I. Sector Clàssic, sector de Ponent i sector Cinc-cents (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, sedimentologia i hidrologia. *Endins*, 31: 43-96.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J. J.; GAMUNDÍ, P.; CLAMOR, B.; POCOVÍ, J. & PERELLÓ, M. A. (2009a): Les descobertes subaquàtiques a la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca): Història i descripció dels descobriments, hidrologia, espeleotemes, sediments, paleontologia i fauna. *Endins*, 33: 35-72.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J. & MERINO, A. (2009c): Corrosion patterns related to meteoric-marine mixing zone in coastal cave systems of Mallorca island (western Mediterranean). *Island Karst Symposium. 2009 ICS Proceedings. 15th International Congress of Speleology*. Kerrville, USA.
- GRÀCIA, F.; GAMUNDÍ, P.; CLAMOR, B.; TRIAS, M.; FORNÓS, J. J.; FEBRER, M. & POCOVÍ, J. (2010b): Noves aportacions a l'estudi de les cavitats de cala Falcó-cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 34: 141-154.
- GRÀCIA, F.; JAUME, D.; RAMIS, D.; FORNÓS, J.J.; BOVER, P.; CLAMOR, B.; GUAL, M.A. & VADELL, M. (2003b): Les coves de Cala Anguila (Manacor, Mallorca). II: La cova Genovesa o cova d'en Bessó. Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna, paleontologia, arqueologia i conservació. *Endins*, 25: 43-86.
- GRÀCIA, F.; WATKINSON, P.; MONSERRAT, T.; CLARKE, O. & LANDRETH, R. (1997): Les coves de la zona de ses Partions-Portocolom (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 21: 5-36.
- GUILCHER, A. (1988): *Coral Reef Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd. 228 pp. Chichester, UK.
- HANSHAW, B.B. & BACK, W. (1979): Major geochemical processes in the evolution of carbonate-aquifer system. *Journal of Hydrology*, 43: 287-312.
- MERINO, A. (1993): La Cova des Pas de Vallgornera. *Endins*, 19: 17-23.
- MERINO, A. (2000): Nuevas extensiones de la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 23: 7-21.
- MERINO, A. (2006): Espeleotemas poco frecuentes y morfologías de corrosión hallados en la Cova des Pas de Vallgornera. *Endins*, 30: 49-70.
- MERINO, A. (2007): Solutional sculpturings and uncommon speleothems found in the Cova des Pas de Vallgornera, Majorca, Spain. *NSS News*, 65 (9): 14-20. Huntsville, USA.
- MERINO, A.; MULET, A. & MULET, G. (2006): La Cova des Pas de Vallgornera: 23 kilómetros de desarrollo topografiado (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 30: 29-48.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2008): La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca) alcanza los 55 kilómetros de desarrollo topográfico. *Endins*, 32: 33-42.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2009): Cova des Pas de Vallgornera: an exceptional littoral cave from Mallorca Island (Spain). In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 522-527. Kerrville, USA.
- MYLROIE, J.E. & CAREW, J.L. (1990): The flank margin model for dissolution cave development in carbonate platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15: 413-424.
- NÚÑEZ-JIMÉNEZ, A. (1967): *Clasificación genética de las cuevas de Cuba*. Academia de las Ciencias de Cuba.
- SLABE, T. (1995): *Cave Rocky Relief and its Speleogenetical Significance*. Znanstvenoraziskovalni Center SAZU. Ljubljana. 128 pàgs.
- TRIAS, M. & MIR, F. (1977): Les coves de la zona de Can Frasquet - Cala Varques. *Endins*, 4: 21-42.